

Tehtaan aktiivilietelaitoksen toimintapisteen määrittäminen ja toiminnan kehittäminen

Petri Vento

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020

Biotuote- ja prosessitekniikka
Biotuotetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikka
Biotuotetekniikka

VENTO, PETRI:

Tehtaan aktiivilietelaitoksen toimintapisteen määrittäminen ja toiminnan kehittäminen

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Huhtikuu 2020

Opinnäytetyön taustalla on Oy Essity Finland Ab:n paperitehtaalla Nokialla käytössä oleva Best Practice -standardi, joka määrittelee vedenkäsittelyprosessille optimaalisen toiminnan eri laskentamenetelmien ja prosessimuuttujien avulla. Opinnäytteen tarkoitus on tutkia aktiivilietteen mikrobiologista koostumusta ja määrittää optimaalisia toimintaparametreja aktiivilietelaitoksen vedenkäsittelyprosessille. Työn empiirisessä osuudessa kerättiin tietoja jäteveden laadusta ottamalla näytteitä aktiivilieteprosessin ilmastusaltaasta. Opinnäytetyössä käytettiin yrityksen Best Practice -aineiston laskentamenetelmiä sekä tehtaan laboratorion analyysimenetelmiä näytteiden tutkimiseen ja datan keräämiseen. Best Practice -aineisto kuuluu opinnäytteen salassa pidettäviin kohtiin. Työssä mitattiin aktiivilietteeseen liuenutta happea ja muodostettiin lietealtaan happiprofiili. Lietenäytteistä mitattiin kemiallinen hapentarve sekä määritettiin mikrobien jakauma yksittäisissä näytteissä laskemalla havaintoyksiköt mikroskoopin avulla. Prosessin kannalta olennaisista mikrobeista otettiin digitaalikuvia, joiden tarkoitus on olla apuna mikrobien tunnistamisessa ja jakauman määrittämisessä.

Työn aikana happiprofiili asettui prosessiin kohdistettujen muutosten avulla kohti tässä työssä tavoiteltuja arvoja. Kemiallisen hapentarpeen jakautuminen ilmastusprosessin eri vaiheissa tasoittui ensimmäisiin mittauksiin nähden. Mikrobijakauma muuttui niin, että ripsieläinten suhteellinen osuus kasvoi ja rataseläinten osuus väheni.

Näistä tuloksista voidaan johtaa, että ilmastusventtiilejä ja palautuslietteen virtaamaa säätämällä voidaan vaikuttaa lietteen ominaisuuksiin, prosessin tehokkuuteen ja lietteessä elävään mikrobiekosysteemiin. Tutkitut parametrit antavat selkeitä viitteitä prosessin toiminnasta ja aktiivilietteen laadusta, ja ne voidaan ottaa käyttöön tehtaan prosessinseurannassa. Saadun tiedon perusteella prosessille on löydetty tapoja vaikuttaa prosessin tehokkuuteen sekä parametreja, joilla sitä voidaan seurata entistä tarkemmin. Tätä tietoa voidaan hyödyntää edelleen kehittämällä menetelmiä ja uusilla mittalaitehankinnoilla.

Asiasanat: aktiiviliete, jätevesi, prosessitekniikka, paperiteollisuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bioproduct and Process Engineering
Bioproduct Engineering

PETRI VENTO:

Determination of the Functioning Point of Mill's Activated Sludge Plant and Development of the Operation

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 4 pages
April 2020

The background of this bachelor's thesis is the Best Practice Standard applied by the paper mill of Oy Essity Finland Ab in Nokia, Southern Finland. The standard defines an optimal function for the water treatment process with different kinds of calculation methods and process parameters. The aim of this thesis is to research microbiological structure of the activated sludge and to determine the optimal parameters for the water treatment process of the activated sludge basin. In the empirical part of this work, data was collected concerning the quality of the wastewater by taking samples from the aeration tank of the activated sludge process. The examination of samples and the compilation of data was undergone by using the mill laboratory's analysis methods and the calculation methods found in literature of the Best Practice standard. The Best Practice literature used in this thesis work is considered confidential information. As a part of the work, dissolved oxygen was measured and converted into the oxygen profile of the sludge basin. The chemical oxygen demand was measured from the sludge samples. The distribution of micro-organisms in samples was determined by counting singular sightings seen via microscope. Digital photos were taken of the micro-organisms relevant for the process through the microscope lens. The photos are supposed to aid in the recognition of the organisms and in determining the microbiological distribution.

During the work, the oxygen profile settled towards the desired values set in this work by changes that were targeted at the process. The segmentation of the chemical oxygen demand in the different phases of the aeration process was evened out in comparison to the initial measurements. The microbiological distribution was altered so that the relative number of ciliates rose, and the number of rotifers subsided.

From these results can be concluded that the sludge properties, efficiency of the process and the microbial ecosystem of the sludge can be affected by controlling the aeration valves and by controlling the flow of the return activated sludge. Examined parameters show clear implications of the process functioning and the quality of the activated sludge, thus they can be applied in the process control of the mill. The acquired data has provided new ways to affect the efficiency of the process and new parameters to observe the process more closely. Investing in equipment and developing the methods would further the benefit from this data.

Key words: activated sludge, wastewater, process engineering, paper industry

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEORIA.....	7
2.1	Jäteveden käsittely.....	7
2.2	Aktiivilieteprosessi.....	9
2.3	Jäteveden mikrobikanta	12
2.4	Best Practice.....	14
2.5	Tunnusluvut	15
2.6	Tilapisteanalyysi.....	17
3	MITTAUSMENETELMÄT.....	19
3.1	Lietteeseen liuennut happi (DO, Dissolved Oxygen)	19
3.2	COD.....	20
3.3	Mikrobiseuranta	21
3.4	Prosessimuutokset.....	21
4	TULOKSET.....	22
4.1	Lietteeseen liuennut happi	22
4.2	COD.....	26
4.3	Mikrobiseuranta	28
4.4	Tunnusluvut	33
5	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	38
	Liite 1. Liuenneen hapen mittaustulokset	38
	Liite 2. Kemiallisen hapenkulutuksen mittaukset	39
	Liite 3. Jätevesilaitoksen laboratoriomittaukset ja tunnusluvut	40

LYHENTEET JA TERMIT

COD	chemical oxygen demand, kemiallinen hapenkulutus
BOD	biochemical oxygen demand, biokemiallinen hapenkulutus
aerobinen prosessi	vedenkäsittelyprosessi, jossa hyödynnetään happipitoisissa oloissa elävää bakteerikantaa
RAS	return activated sludge, ilmastukseen palaava palautusliete
WAS	waste activated sludge, prosessista poistettava liete
F/M-suhde	food-to-micro-organism ratio, ravinnon suhde mikrobeihin
DO	dissolved oxygen, aktiivilietteeseen liuennut happi
MCRT	mean cell residence time, lieteikä eli aktiivilietekierron pituus vuorokausina
MLSS	mixed liquor suspended solids, lietteeseen liuennut kiintoaines

1 JOHDANTO

Oy Essity Finland Ab:n paperitehtaalla Nokialla tuotetaan pehmopaperijalosteita, kuten wc-paperia ja talouspaperia. Paperintuotannosta poistuvat jätevesivirrat pumpataan tehdasalueella sijaitsevalle jätevesilaitokselle. Tässä opinnäytetyössä määritetään optimaalisia toimintaparametreja vedenkäsittelyprosessille Essityn Best Practice -ohjeistuksen näkökulmasta. Työssä keskitytään erityisesti jätevesilaitoksen ilmastusprosessiin, sekä aktiivilietteen mikrobikannan vaikutuksiin prosessissa happi- ja ravinnepitoisuuden kautta.

Teoriaosiossa avataan keskeiset käsitteet jäteveden puhdistuksessa sekä erityisesti tämän työn kannalta olennaisessa aktiivilieteprosessissa. Teoriaosiossa käydään myös läpi työssä käsitellyt seikat yrityksen Best Practice -ohjeistuksesta. Luvussa Mittausmenetelmät perehdytään työssä käytettyihin mittalaitteisiin ja siihen, kuinka niitä on hyödynnetty työn tuloksien saavuttamisessa. Luvussa Tulokset eritellään, mitä mittausten perusteella saatiin selville ja millaista tietoa jäteveden mikroskooppitutkimuksella saavutettiin. Pohdintaosiossa tuloksia analysoidaan ja niiden pohjalta on tehty yhteenveto siitä, millaisia muutoksia jätevesilaitoksella tulisi tehdä Best Practice -ohjeistuksen ja tämän opinnäytetyön näkökulmasta.

2 TEORIA

2.1 Jäteveden käsittely

Jätevesien käsittely on toimenpide, jonka tarkoituksena on edistää vesiensuojelua. Siihen kuuluu olennaisesti myös jätevesilaitosten suunnittelu, rakentaminen ja käytön valvonta. Maankäyttöä suunnitellessa vesien suojelua toteutetaan siten, että syntyvät jätevedet ja muut jätteet on mahdollista sijoittaa mahdollisimman pienin haittavaikutuksin. Vesiensuojelu on tärkeä osa ympäristönsuojelua ja siihen kuuluu vesivarojen tilan seuranta, niiden mahdollisen muutoksen ennustaminen, vesivarojen käytön suunnittelu sekä niitä muuttavan toiminnan järkiperäinen ohjaus ja kehittäminen. Vesien suojelua on erityisesti vesivaroihin kohdistuvien haitallisten muutosten estäminen ja muutosten poistaminen. Lukuisat yhteiskunnassa tapahtuvat toiminnot edellyttävät vesiensuojelutoimenpiteitä, kuten yhdyskunta- ja teollisuusvesipäästöt, maa- ja metsätalouden tehokas harjoittaminen, asutuksen ja teollisuuden sijoittaminen, vesistöön rakentaminen, maa- ja metsätaloudellinen peruskuivatus, maa-ainesten käyttö ja sadevesien johtaminen. (Heinänen et al., 1994)

Jätevedessä olevat haitat, joihin puhdistusprosessi keskittyy, ovat esimerkiksi kiintoaines, orgaaninen aines, ravinteet, rasvat ja öljyt, raskasmetallit, torjunta-aineet, radioaktiiviset aineet, pesuaineet ja liuottimet. Vesistöä kuormittavat luonnonhuuhtouma, hajakuormitus, kuten viljelysmaiden ja metsien lannoitus sekä pistekuormitus, esimerkiksi jäteveden muodossa. Jäteveden puhdistuksella voidaan vaikuttaa lähinnä vain pistekuormitukseen. (Heinänen et al., 1994)

Vesistöjen kuormitus saa aikaan samenemista, värjäytymistä, hapen kulumista, hajuhaittoja ja hygieenisiiä haittoja. Sameneminen johtuu kuiduista, jotka päätyvät vesistöön sekä kolloidisista että suspensioina liettyivistä aineista. Samea vesi läpäisee heikosti veden ja estää valon pääsyn alempiin vesikerrokseen, jolloin fotosynteesi hidastuu tai estyy tapahtumasta. Happipitoisuus laskee tämän seurauksena. Teollisuuslaitosten jätevedet aiheuttavat värjäytymistä. Pienikin väriainepitoisuus näkyy vedessä, jolloin haitta on esteettinen. Suurempina pitoisuuksina väriaineet samentavat veden. (Heinänen et al., 1994)

Vesistön kannalta haitallisin seuraus kuormituksesta on hapen kuluminen. Happipitoisuus vaikuttaa vesistöjen ekosysteemeihin. Hapen määrä vedessä on tärkeää muun muassa kalojen selviytymisen kannalta. Useat kalalajit eivät enää selviydy vedessä, jonka happipitoisuus on alle 2 mg/l (Heinänen et al., 1994). Hapen loppuminen voi aiheuttaa myös hajuhaittoja, joita tosin saattaa ilmetä sellaisenaankin teollisuuden jätevesipäästöissä. Useimmiten tällaiset päästöt ovat myös myrkyllisiä, jotka pahimmillaan luokitellaan ongelmajätteeksi, eikä niitä saisi laskea vesistöön lainkaan. Hygieeniset haitat liittyvät asumajätevesipäästöihin ja ne vaikuttavat veden uimakelpoisuuteen. (Heinänen et al., 1994)

Tavallisesti jätevedellä tarkoitetaan asunnoista, kouluista, hotelleista, sairaaloista ja muista laitoksista tulevaa jätevettä. Jäteveden kuitenkin ollessa monipuolinen käsite, se luokitellaan kutsumalla tällaista vettä asumajätevedeksi. Tämän lisäksi jätevettä tulee teollisuuden prosesseista ja sitä kutsutaan teollisuusjätevedeksi. (Heinänen et al., 1994)

Teollisuuden jätevesien määrästä ja laadusta tulisi aina tehdä erillinen selvitys ennen kuin niiden käsittelyä voidaan alkaa suunnittelemaan. Jos kyse on vasta suunnitteilla tai rakenteilla olevasta teollisuuslaitoksesta, oikeanlaiseen suuruusluokkaan päästään laskemalla kyseisen laitoksen asukasvastineluku sen tuotantoon perustuen. On olemassa tilastoja, joista ilmenee kuinka monta henkilöä tietty kuormitus vastaa. Yhdyskuntajätevesiasetuksen mukaan asukasvastineluku tarkoittaa yhtä sellaista vuorokausikuormitusta, jonka BOD₇ on 70 g happea. (Finlex)

Kiintoaine voidaan erottaa selkeyttämällä tai suodattamalla. Selkeytykseen on kaksi eri menetelmää, laskeutus ja flotaatio. Laskeutus on näistä kahdesta yleisimmin käytetty selkeytysmenetelmä. Vapaassa laskeutuksessa hiukkaset vajovat toisistaan riippumatta. Jäteveden puhdistusprosessissa tällaiset olosuhteet ovat esimerkiksi esilaskeutuksessa. Tällaisen altaan suunnittelussa voidaan soveltaa pintakuormateoriaa. Estetyssä laskeutuksessa hiukkasten vajoamisnopeus riippuu myös hiukkasten pitoisuudesta jätevedessä. Tässä tilanteessa hiukkaset ovat niin lähekkäin, että niiden syrjäyttämä vesi kulkee rajoitetussa tilassa. Biologisen aktiivilietteen laskeuttaminen on lähes aina estettyä laskeutusta,

koska vapaan ja estetyn laskeutuksen välinen kiintoainepitoisuuden raja-arvo on noin 2600 mg/l. (Heinänen et al., 1994)

2.2 Aktiivilieteprosessi

Biologinen jäteveden puhdistus on prosessi, jossa mikrobit muuttavat jätevedessä olevat liuenneet ja hienojakoisen orgaanisen aineksen suspensiomuotoon, jolloin ne voidaan erottaa selkeyttämällä. Erottamista tehostetaan muodostamalla partikkeleista flokkeja. Biologinen puhdistusprosessi voi olla lieteprosessi, jossa mikrobit uivat vapaasti vedessä tai biofilmiprosessi, jossa mikrobit ovat kiinnittyneinä kantoaineisiin tai pintoihin. (Heinänen et al., 1994)

Biologista jäteveden puhdistusta käytetään erityisesti molekyylimassaltaan pienen ainekseen, usein molekyylipainoltaan alle 800 daltonin kokoisille hiukkasille. Mikrobit hyödyntävät lietteeseen liuennutta ja kolloidista ainesta ravinteena. Se saa aikaan prosessin, jossa jätevedestä syntyy biomassaa sekä hiilidioksidia ja vettä. Prosessin bakteerikanta koostuu useista eri bakteerilajeista, minkä vuoksi prosesseilla on taipumus toimia puskurina häiriöille ja myrkyllisille aineille. Biologinen jätevesiprosessi, erityisesti aerobinen prosessi, on käytössä hyvin monessa metsäteollisuuden tuotantolaitoksessa. (Dahl, 2008)

Mikrobien kasvua, tässä tapauksessa bakteerien, voidaan mallintaa kasvukäyrällä. Kun bakteerit kohtaavat muutoksen elinympäristössä tai ne siirrostetaan laboratorio-olosuhteissa uudelle kasvualustalle, bakteerimassa ei jakaudu heti, vaan totuttelee uuteen elinympäristöön. Tätä kasvukäyrän ensimmäistä vaihetta kutsutaan viivevaiheeksi tai lag-vaiheeksi. Ravinteiden määrä kasvualustalla vaikuttaa viivevaiheen pituuteen lajikohtaisesti. Pääasiassa vähäinen ravinnepitoisuus pidentää viivevaihetta. Viivevaiheen jälkeen seuraa kiihtyvän eli eksponentiaalisen jakautumisen aika. Bakteerien solukoko kasvaa, ja niiden aineenvaihdunta vilkastuu. Vaihe päättyy, kun bakteeripopulaation koko on saavuttanut ympäristön kantokyvyn, kasvu hidastuu ja alkaa tasannevaihe eli stationaarinen vaihe. Solut jakautuvat edelleen, mutta osalla bakteereista jakautuminen estyy ja osa kuolee. Vaikka ravinteita olisi riittävästi, eräässä vaiheessa kanta kuolee,

mikä näkyy populaatiokoon eksponentiaalisena laskuna. (Sojakka & Välimäki, 2011)

Jätevesivirrat, jotka tulevat paperitehtaalta ja siistaamolta, yhdistetään jätevesilaitokselle tulevaksi vesivirraksi. Tuleva jätevesi pumpataan jätevesilaitokselle, jossa se välpätään ja johdetaan esiselkeyttimelle. Primääriliete jää pohjalle, josta se pumpataan lietteen käsittelyyn. Kirkaste jatkaa ulkokiertoa ja se neutraloidaan neutralointikemikaaleilla, kuten rikkihapolla ja natriumhydroksidilla. Vesi jatkaa tasausaltaaseen, jonka tarkoitus on pitää vesimäärä ja veden laatu tasaisena. Tämän ansiosta voidaan paremmin hallita ja optimoida vesilaitoksen toimintaa reaaliaikaisen vakioinnin tapahtuessa. Vesi pumpataan kemikaaliaseman kautta, jossa ravinteet lisätään. Vesi jatkaa toisen altaan ulkokiertoa, josta se menee ilmastukseen. Ilmastuksessa vesi on jatkuvassa kierrossa, ja mikrobien aineenvaihdunta pidetään yllä pumppaamalla hapetta altaaseen. Ilmastusaltaan pohjalla on haravia, joista vapautuu ilmaa pieninä kuplina. Aerobiset hajottajabakteerit käyttävät tätä ravinnokseen. Riittävä hapensaanti on varmistettava, jotta bakteerit selviytyvät eikä anaerobisia olosuhteita pääse muodostumaan. Ilmastuksesta vesi virtaa jälkiselkeytykseen, jossa vajonnut kiintoainepumppu pumpataan tiivistykseen, osa palautuu palautuslietteenä (RAS) ilmastukseen. Palautuskierron avulla bakteerit palaavat ilmastukseen. Tiivistyksestä erotettu vesi palaa kiertoa, kun taas kiintoainepumppu (WAS) jatkaa lietepuristimelle jätteeksi. Jälkiselkeyttimessä puhdistettu vesi lasketaan vesistöön. (Best Practice, 2016, Heinänen et al, 1994)

Aktiivilietelaitoksen seurannassa käytetään tunnuslukuja, joilla varmistetaan jätevesilaitoksen tehokas toiminta ja korkea COD-reduktio (Best Practice, 2016).

BOD (Biochemical Oxygen Demand) – Biokemiallinen hapen kulutus. Kuvaa likimäärin jätevedessä olevan helposti hajoavan orgaanisen aineksen määrän. Yhteistä tälle ainekselle on pieni keskimääräinen molekyyli massa ja liukoinen olomuoto. Tällaisia yhdisteitä ovat esimerkiksi hiilihydraatit, alkoholit ja orgaaniset hapot. Kyseessä on summaparametri, joka kuvaa liuenneen hapen määrää, joka kuluu liuenneen ja suspendoituneen hapettuvan aineen biokemiallisesti hapettumisessa määrättyissä olosuhteissa 7 päivän kuluessa. (POHTO, 2016)

COD (Chemical Oxygen Demand) – Veden kemiallinen hapen kulutus. Kuvaa kaikkien orgaanisten yhdisteiden ja monien pelkistyneiden epäorgaanisten yhdisteiden kokonaismäärää. Kyseessä on summaparametri, jossa huomioidaan kaikki yhdisteet, jotka hapettuvat happamassa dikromaattiliuoksessa. Kemiallinen hapenkulutus on aina suurempaa kuin biologinen hapenkulutus. (POHTO, 2016)

TOC (Total Organic Carbon) – Orgaanisen hiilen kokonaismäärä. Kuvaa jätevedessä olevan orgaanisen aineksen määrää hiilipitoisuutena. Hapettavuus ei vaikuta parametriin, ja parametri ei anna tietoa aineksen koostumuksesta. (POHTO, 2016)

TS (Total Solids) – Astiaan jäävä aines näytteen höyrystyessä ja sen jälkeisen kuivauksen jälkeen määritellyssä lämpötilassa. TSS ja TDS (Total Dissolved Solids, liuennut kokonaiskiintoaine) ovat alakäsitteitä TS:lle. (POHTO, 2016)

TSS (Total Suspended Solids) – Kokonaiskiintoaine. Kiintoaines, joka ei läpäise standardilasikuitusuodatinta. Sekä raskaampi ja kelluva kiintoaines selkeyttimessä, että kevyempi, kolloidi kiintoaines kuuluu tähän jaotteluun. (POHTO, 2016)

Ravinteet on yleisnimitys typelle ja fosforille. Ne ovat peräisin raaka-aineena käytetystä puusta. Aktiivilietelaitoksessa jätevetteen lisätään ravinteita, jotta mikrobikanta toimisi tehokkaasti, sillä ravinteiden alkuperäinen määrä vedessä on vähäinen verrattuna orgaanisen hiilen määrään. Ravinteet itsessään aiheuttavat ongelmia jätevesivirroissa, sillä ne ovat haitallisia vesistöjen ekosysteemeille ja vaikuttavat suoraan veden laatuun. Ravinnerajoitukset koskevatkin pääasiassa tehtaita, jotka päästävät veden suoraan vesistöihin. Ravinteiden lisäämisessä mikrobikannan tehostamiseksi tulisi seurata ravinnepitoisuuksia. Jos annostelu on liiallista, typpeä ja fosforia voi vapautua liian suurissa määrin poistuvan virtauksen mukana. (Best Practice, 2016; Heinänen et al, 1997 ja POHTO, 2016)

2.3 Jäteveden mikrobikanta

Jäteveden aktiiviliete on keinotekoinen ekosysteemi, johon vaikuttavat jatkuvasti eri elottomat ja elolliset tekijät. Lähtevän jätevesivirtauksen pitoisuus orgaanisessa aineessa ja epäorgaanisissa ravinteissa pyritään pitämään mahdollisimman alhaisena käyttäen apuna rajoittavia olosuhteita. Tämän takia jätevedessä selviytyvät parhaiten tähän ympäristöön sopeutuvat bakteerilajit. Tekijät, jotka vaikuttavat aktiivilietteen sopeutuvuuteen ovat muuttuvia. Siksi parhaiten sopeutuvat bakteerit voivat vaihdella, ja jäteveden mikrobijakauma ei pysy täysin vakiona. Kaikki jätevedeen kohdistuvat muutokset näkyvät aktiivilietteen ja sen mikrobikannassa. (Cloete & Muyima, 1997). Mikrobikantaan kohdistuvat muutokset taas näkyvät jätevesilaitoksen operoinnin olosuhteissa, kuten F/M-suhteessa, nitrifikaatiossa, lieteiässä ja ilmastuksen DO-jakaumassa (Bitton, 2011, Madoni et al., 1993).

Aktiivilieteprosessin ilmastusaltaasta tavallisesti löytyy viittä eri pääryhmää: bakteerit, alkueläimet, monisoluiset, filamenttiset bakteerit, levät ja sienet. 95% ilmastuksen eliöstöstä on bakteereja. Suurin osa biologisen hapentarpeen laskeamisesta aktiivilietteestä johtuu aerobisten bakteerien toiminnasta. Mikroskoopilla näkyvät alkueläimet ovat korkeammalla ravintoketjussa. Niiden määrä ja toiminta voi kertoa bakteerikannan olotilasta. Tilanmuutokset kuten korkea pH, hapen tai ravinteen vaihtelut sekä myrkyllisyys vaikuttavat ensimmäisenä alkueläimiin ja monisoluisiin. Jätevedenpuhdistamoissa on tyypillisesti viidenlaisia alkueläimiä. Kun seurataan näiden mikrobien jakaumaa vedessä, voidaan päätellä lietteen ikä, lietteen laatu ja mikrobien kunto. (Best Practice, 2016)

Amebat ovat yksisoluisia eliöitä, jotka kehittyvät lietteessä ensimmäisenä. Niitä löytyy lietteestä lieteiästä riippumatta (Best Practice, 2016). Amebat liikkuvat vedessä pseudopodien eli ”valejalkojen” varassa, jotka ovat solun väliaikaisesti kurottavia ulokkeita. Amebat jaetaan kahteen alaluokkaan: amebat (esim. *Amoeba proteus*) ja kuorelliset amebat (esim. *Arcella*) (Bitton, 2011). Siimaeliöt ovat seuraavaksi kehittyviä eliöitä. Ne koostuvat suuresta yhdestä solusta, jossa on siima. Amebat ja siimaeliöt ovat vallitsevia eliöitä nuoren lietteen mikrobijakaumassa. Nuoressa lietteessä on alhainen laskeutuvuus ja korkea lieteindeksi. Lieteiän kasvaessa siimaeliöiden määrä laskee (Best Practice, 2016). Siimaeliöt liikkuvat

yhden tai usean siiman varassa. Joitain tärkeimpiä aktiivilietteen siimaeliöitä ovat Bodo spp., Pleuromonas spp., Monosiga spp., Hexamitus spp., ja parveileva alkueliö, Poteriodendron spp. (Bitton, 2011).

Vapaasti uivat ripsieläimet ovat pieniä, soikeita eliöitä, joilla on pienet ripset. Ne liikkuvat vedessä ripsien aaltomaisen liikkeen ansioista, mikä auttaa niitä myös ravinnon hankkimisessa. Niiden määrä kasvaa lietteen ollessa kypsää ja näin saavuttaessaan parhaan mahdollisen laskeutuvuuden. Kun lieteikä kasvaa edelleen, niiden määrä laskee (Best Practice, 2016). Nämä ripsieläimet ravitsevat itsensä vapaasti uivilla bakteereilla, eli sellaisilla, jotka eivät osallistu flokin muodostukseen (Cloete & Muyima, 1997). Bakteerien pitoisuus jätevedessä vapaasti uivien ripsieläimien esiintyessä on korkea, yli 10^8 solua millilitrassa. Aktiivilietteen tärkeimmät suvut ovat Chilodonella, Colpidium, Blepharisma, Euplotes, Paramecium, Lionotus, Trachelophyllum, Spirostomum, Aspidisca ja Euplotes (Bitton, 2011).

Varrelliset ripsieläimet näyttävät lietehiukkaseen kiinnittyneiltä kukkakimpuilta. Ne syövät bakteereja sekä hyvin pieniä orgaanisia yhdisteitä. Varrelliset ripsieläimet vastaavat myös mikroskooppisten hiukkasten siirtämisestä isommiksi flokeiksi edistään selkeytystä ja poistuvan kirkasteen puhtautta (Best Practice, 2016). Varrellisia ja ”kiinnittyneitä” ripsieläimiä esiintyy tyypillisesti hyvin laskeutuvassa lietteessä, jossa vapaasti uivien bakteereiden määrä on rajallinen (Cloete & Muyima, 1997, Buchan, 1984), pitoisuus on alle 10^6 solua millilitrassa. Pääasialliset varsieliöt ovat Vorticella (*V. convalaria*, *V. microstoma*), Carchesium, Opecularia ja Epistylis (Bitton, 2011). Vapaasti uivat ripsieläimet ja varsieliöt ovat vallitsevia ryhmiä hyvin laskeutuvassa lietteessä, ja molemmat harvenvat lieteiän kasvaessa (Best Practice, 2016).

Rataseläimet ovat aktiivilietteen alkueläimistä monimutkaisimpia. Niillä on yhdeksän solua, ja ne ovat isompia kuin muut mikrobit. Ne alkavat esiintymään lietteessä, kun lieteikä kasvaa ja hajanaiset flokit katoavat. Niiden määrä kasvaa edelleen lietteen ikääntyessä. Rataseläimet ovat vallitsevia vanhassa lietteessä. Rataseläimet osallistuvat flokinmuodostukseen (Bitton, 2011) ja silloin hyvin pieniä flokkihiukkasia ilmestyy lähtevään veteen, koska ei ole tarpeeksi ripsieläimiä

hajottamaan niitä (Best Practice, 2016). Näiden eliöiden esiintyminen ilmastuksen loppuvaiheilla kertoo tehokkaasta vapaiden bakteereiden poistumisesta lietteestä käyttäen niitä ravintonaan. Rataseläimet kiinnittyvät kehollaan flokkihiukkaseen, usein ulospäin kurotellen flokin pinnasta. Jäteveden rataseläimet kuuluvat kahteen pääjoukkoon, Bdelloidea (esim. *Philodina* spp., *Habrotricha* spp.) ja Monogononta (esim. *Lecane* spp., *Notommata* sp.). (Bitton, 2011).

Mikrobeista erityisesti yksisoluiset alkueliöt laskevat merkittävästi jäteveden BOD:ta, kiintoainetta ja bakteereita, mukaan lukien taudinaiheuttajia (Bitton, 2011, Curds, 1975). Alkueliöiden määrä lieteliuoksessa on kääntäen verrannollinen COD:n ja kiintoaineen määrään lähtevässä jätevedessä (Bitton, 2011, Sudo & Aiba, 1984).

Mikrobiseuranta tulisi Best Practicen mukaan tehdä viikoittain, ja tulokset tulisi tallettaa jokaisen analyysin jälkeen. Aktiivilietelaitoksen toiminnalliset ongelmat tulisi yhdistää silloisella hetkellä vallitsevaan bakteerityyppiin. (Best Practice, 2016)

2.4 Best Practice

Best Practice -termillä tarkoitetaan tekniikkaa, menetelmää, prosessia tai toimintoa, joka on todettu saavuttavan tietyn lopputuloksen tehokkaammin kuin mikään muu tekniikka, menetelmä tai prosessi. Best Practice -ympäristöstandardi antaa yleiskuvan parhaista käytäntöistä prosessinohjauksesta selkeyttimissä, aerobisissa ja anaerobisissa reaktoreissa. Jätevesiprosessin tärkeys tehtaalle on kriittinen. Jos jäteveden käsittelyprosessi epäonnistuu, tehdas on suljettava, jotta vältetään negatiiviset ympäristövaikutukset ja lainsäädännön rikkomukset. (Best Practice, 2016)

Jätevesilaitosten suunnittelussa, rakentamisessa ja ohjauksessa tulisi tavoitella tiettyjä toiminnallisia tavoitteita. Kaikki päästöt vesistöihin tai kanaviin tulisi olla yrityksen ja lainsäädännön vaatimusten mukaisia. Häiriötilannetoimenpiteet eivät saisi aiheuttaa vahinkoa pintavesistöihin tai maaperään. Kaikki jätevesi tulisi kä-

sitellä ja säilyttää tehdasalueella aina kun se on mahdollista ja ympäristön kannalta hyödyllistä. Suunnittelussa tulisi myös ottaa huomioon toimenpiteet vesivaroja tai sellaisia keinoja varten, joiden avulla käsiteltyä jätevettä voidaan kierrättää tai käyttää uudelleen. (Best Practice, 2016)

Tyypilliset COD-tasot tulevassa jätevedessä ovat 100-1000 mg/l luokkaa. Suotuisissa olosuhteissa COD-reduktio voi olla yli 95%. Aerobisen bioreaktorin ylläpitäminen vakaana on tärkeää prosessin tehokkuuden ylläpitämisen kannalta. Jo aiemmin mainittujen tunnuslukujen lisäksi voidaan näiden tunnuslukujen ja aktiivilieteprosessin parametrien avulla määrittää tarkempia aktiivilietelaitoksen tilaa kuvaavia tunnuslukuja (Best Practice, 2016). Tässä työssä keskitytään näistä tunnusluvuista lieteindeksiin, lieteikään sekä ravinto-mikrobisuhteeseen, joihin syvennytään luvussa 2.5.

2.5 Tunnusluvut

SVI (Sludge Volume Index)

$$SVI = \frac{\text{laskeutuvuus}}{MLSS(\text{ilmastus})} \quad (1)$$

SVI eli lieteindeksi kuvaa lietteen laskeutuvuutta jälkiselkeyttimessä. Lieteindeksiin määrittämiseen käytetään 30:n minuutin laskeutuvuustestiä, jossa yksi litra jätevettä ilmastusaltaasta kaadetaan mitta-astiaan. Testin lopuksi kirjataan laskeutuvuus eli se tilavuus, johon liete on seisovassa vedessä laskeutunut 30:ssä minuutissa. Tavoitteena on mahdollisimman matala lieteindeksi määritellyn rajan saakka. (Best Practice, 2016)

MCRT (Mean Cell Residence Time)

$$MCRT = \frac{MLSS(\text{ilmastus}) \cdot V(\text{ilmastus})}{Q_{WAS} \cdot MLSS_{WAS} + Q_{\text{lähtevä}} \cdot MLSS_{\text{lähtevä}}} \quad (2)$$

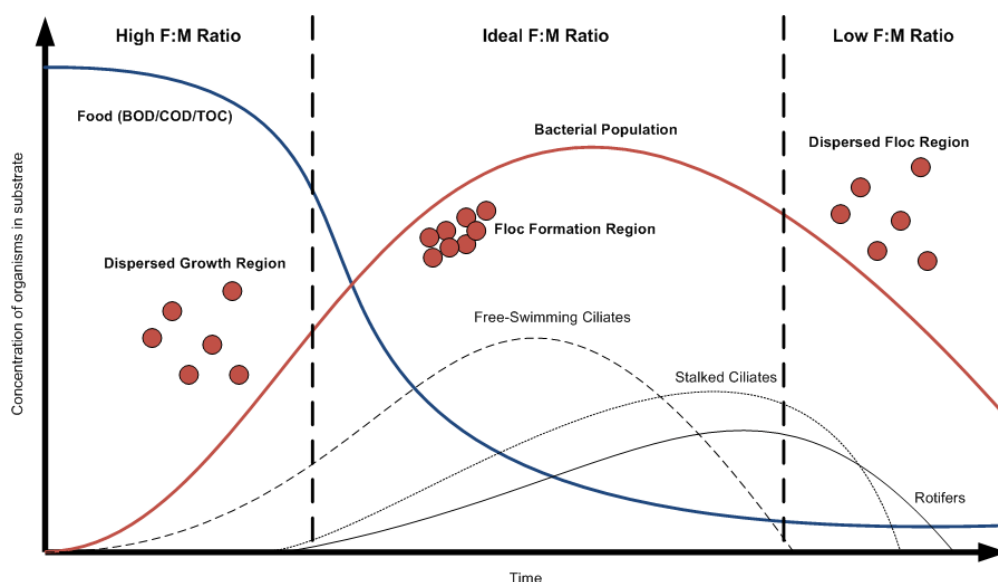
MCRT eli lieteikä aktiivilietteestä on ajanjakso vuorokausina, jonka aikana liete kiertää täyden kierron prosessissa, ja määritellään lietteen kokonaiskiintoainepi-

toisuutena suhteessa poistuvaan kiintoaineeseen vuorokaudessa. Tätä tunnuslukua käytetään WAS-arvon eli poistettavan lietteen määrän laskemiseen. Optimaalinen lieteikä on arviolta 15-20 vuorokautta. Jätevesilaitoksen lieteikä laskeaan prosessikohtaisen F/M-suhteen kautta. Paras mahdollinen lieteikä tulisi suhteuttaa F/M-suhteen, lähtevän veden COD:n ja BOD:n mukaan. Lieteikä on tärkein tunnusluku jätevesilaitoksen operaattorille F/M-suhteen säätelyssä ja poistettavan aktiivilietteen laskemisessa. (Best Practice, 2016)

F/M-suhde (Food-to-Micro-organism Ratio)

$$F/M = \frac{COD \cdot Q_{\text{lähtevä}}}{MLSS(\text{ilmastus}) \cdot V(\text{ilmastus})} \quad (3)$$

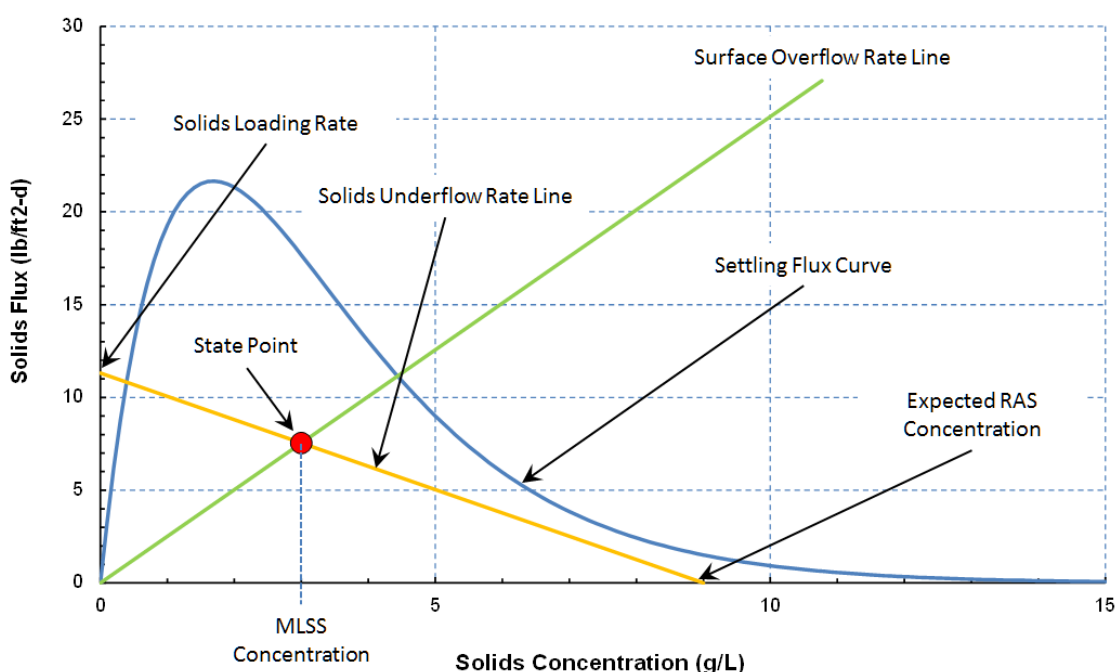
F/M-suhde eli ravinto-mikrobi-suhde kuvaa COD:n eli ravinnon osuutta mikrobimassaan. Suhteelle ei ole yleistä ihannearvoa, vaan jokaiselle jätevesilaitokselle on laskettava oma ideaalinen tai optimaalinen F/M-suhde. Sopiva vaihteluväli on 0,1-0,4, ja se on yksikötön suure. F/M-suhde tulisi Best Practicen mukaan laskea päivittäin. (Best Practice, 2016) Mikrobikannan jakaumassa bakteerikanta on korkeimmillaan lukuarvon ollessa optimaalinen (kuvio 1).



KUVIO 1. Bakteerikannan osuus aktiivilietteestä ajan funktiona (The Wastewater Blog)

2.6 Tilapisteanalyysi

Jätevesilaitoksen selkeyttimen suorituskykyä ja niin sanottua toimintapistettä voidaan mallintaa käytännöllisellä ja visuaalisella matemaattisella kuvaajalla. State Point Analysis eli tilapisteanalyysi määrittelee suotuisan tilapisteen, eli prosessin suorituskyvylle ja tehokkuudelle suotuisan tilan kolmen eri funktion ja kuuden eri parametrin avulla. Jotta menetelmä olisi toimiva, se perustuu useaan yksinkertaistukseen: olosuhteet ovat vakaita, dimensioita on vain yksi eli pystydimensio, jolloin ei oteta huomioon lähtevään jätevetteen vahingossa sekoittuvaa lietettä (short circuiting), tiivistymisen kaltaisia ilmiöitä ei oteta huomioon ja oletetaan, että lähtevässä vedessä kiintoaine on 0. Yksinkertaistuksesta huolimatta tilapisteanalyysia käytetään selkeyttimen alueen esisuunnittelussa ja prosessin ohjauksessa maksimikiintoaineen arviointiin sekä arvioidaan paluuvirtaamaa ennen laitoksen ohjaamisen hienosäätöä. (The Wastewater Blog, 2018, Mogens et al., 2008)



KUVIO 2. Tilapisteanalyysin graafinen esitys (The Wastewater Blog)

Kuviossa 2 on esitetty tilapisteanalyysi esimerkkitalanteessa. X-akseli kuvaa kiintoainesakeutta yksikössä g/l ja Y-akseli kuvaa kiintoainevirtaamaa yksikössä kg/m²h. Korkeamman asteen funktio on laskeutuvuuskaava, joka kuvaa lieteindeksiä. Nouseva suora on hydraulinen pintakuorma, joka alkaa origosta ja jonka kulmakerroin on virtaus selkeyttimen läpi eli tilavuusvirta suhteessa pinta-alaan.

Laskeva suora on alivirtaussuora, jonka akselien leikkauspisteet ovat RAS-virtaus ja kiintoainekuorma SLR. (The Wastewater Blog, Sawea.org)

$$SLR = \frac{Q_{RAS}}{A_{selkeytin}}$$

Tilapiste on näiden kahden suoran leikkauspiste. Suotuisassa tilassa tilapiste sijaitsee laskeutuvuuskäyrän alapuolella. Laskeutuvuuskäyrän piirtäminen tehdään laskeutuvuustestin avulla. Laskeutumisnopeudelle laaditaan korkeuskäyrä ajan funktiona. Tämän funktion avulla määritetään kulmakertoimesta nopeus usealle eri sakeudelle. Tiedetään, että laskeutuvuusvuo G_S määritellään seuraavan kaavan avulla:

$$G_S = MLSS \cdot V_S$$

Kaavassa V_S on laskeutuvuusnopeus kyseisellä sakeudella. Useimmille lietteille pätee seuraava:

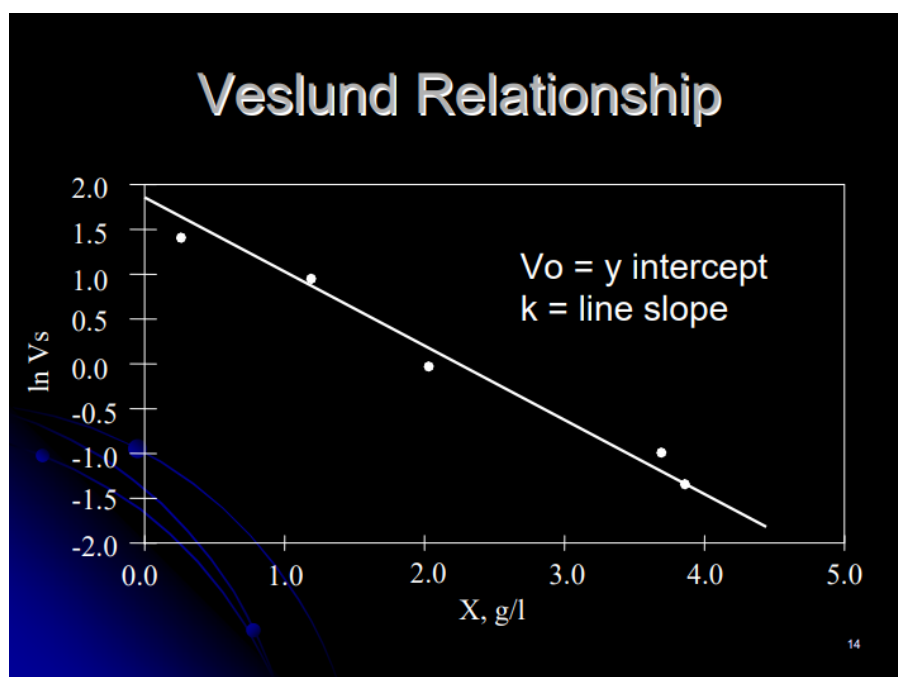
$$V_S = V_0 e^{-k \cdot MLSS}$$

Tästä saadaan laskeutuvuuskäyrän lopullinen yhtälö:

$$G_S = MLSS \cdot V_0 e^{-k \cdot MLSS}$$

Eri sakeuksille lasketut nopeudet piirretään luonnollisina logaritmeina ajan funktiona. Tästä syntyvä suora tunnetaan Veslundin riippuvuutena (kuvio 3). Tämän suoran kulmakerroin on laskeutuvuuskäyrän yhtälön kulmakerroin k .

(The Wastewater Blog, Sawea.org)



KUVIO 3. Veslundin riippuvuus (Sawea.org)

3 MITTAUSMENETELMÄT

3.1 Lietteeseen liuennut happi (DO, Dissolved Oxygen)

Hapen mittauksessa käytettiin HACH HQ30d -mittaria (kuva 1). Anturin toiminta perustuu dioditekniikkaan: anturin kärjessä on happiherkkä pinta-alue, johon heijastetaan sisäpuolelta sinistä valoa. Pinnasta takaisin heijastuvan valon taajuuden ja aikaeron avulla mittari määrittää liuenneen hapen pitoisuus mitattavassa liuoksessa.

Ilmastusallas on jaettu 32:een mittauspisteeseen ilmastusventtiilien lukumäärän mukaan. Anturi upotettiin lietteeseen kunkin venttiilin kohdalla niin, että yläkärki oli noin 10 cm pinnan alla. Mittari stabiloi tuloksen, kun mittaus oli jatkunut vähän aikaa. Tulos kirjattiin ylös, ja kaikista 32 mittautuloksesta luotiin Excel-kuvaaja. Mittaus toistettiin noin kaksi kertaa viikossa kokeellisen osuuden aikana.



KUVA 1. HACH HQ30d -happimittari ja LDO-anturi

3.2 COD

COD-näyte otettiin tietyistä DO-mittapisteistä näytekauhan avulla muoviseen näyteastiaan. Astia täytettiin suunnilleen puoleenväliin. Lietettä mitattiin 100 millilitraa, joka laimennettiin laimennossuhteessa 1:10 ja annosteltiin 2 ml näytteenä pipetillä Hach-Langen LCK 514 -reaktioputkeen. Nämä reaktioputket ovat tarkoitettu näytteille, joiden COD on 100-2000 mg/l. Putkea ravistettiin ja se asetettiin lämpöhauteeseen. Hauteena toimi Hach-Lange HT 200S haude, johon asetettiin 15 minuutin ohjelma. Ohjelman jälkeen putket asetettiin vuorollaan spektrofotometriin, joka analysoi näytteen COD-pitoisuuden ja antoi lukeman yksikössä mg/l. Ilmastuksen COD:ta verrattiin happiprofiiliin. Luvussa tulokset COD-arvot on merkitty happiprofiileihin.



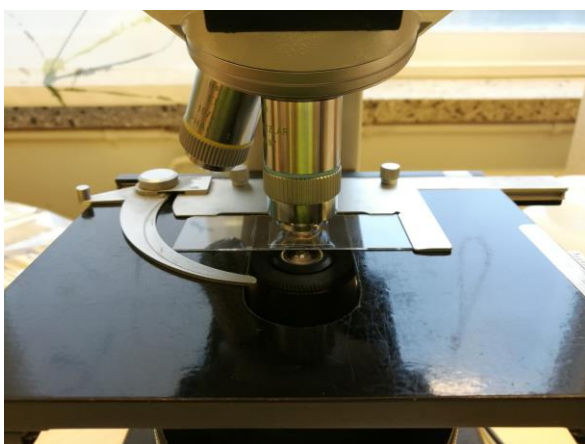
KUVA 2. Hach-Lange LCK 514 -reaktioputkia



KUVA 3. Hach-Lange LCK 514 -reaktioputki odottamassa spektrofotometriaa

3.3 Mikrobiseuranta

Mikrobiseurannassa käytettiin apuna mikroskooppia. Lietepurkkia ravistettiin juuri ennen näytteenottoa. Lietteestä poimittiin muovisella kertakäyttöpipetillä näyte, josta annosteltiin yksi pisara lietettä 20x20 mm peitinlasille. Näytteestä laskettiin noin 100 ensimmäistä havaintoyksikköä, jotka tunnistettiin ja luokiteltiin ulkonäön perusteella kuuteen eri luokkaan tukkimiehen kirjanpidolla. Nämä kuusi luokkaa ovat amebat, siimaeliöt, vapaasti uivat ripsieläimet, varrelliset ripsieläimet, rataseläimet ja madot. Lisäksi lietteestä saattoi havaita muita mikrobeja, jotka ovat vähemmän olennaisia aktiivilietteen analyysin kannalta. Tunnistamisessa on käytetty apuna tämän työn lopussa nimettyjä lähdemateriaaleja. Näytteistä on otettu mikroskoopin kautta valokuvia LG G3 -älypuhelimien kameralla.



KUVA 4. Lietenäyte mikroskoopin alla

3.4 Prosessimuutokset

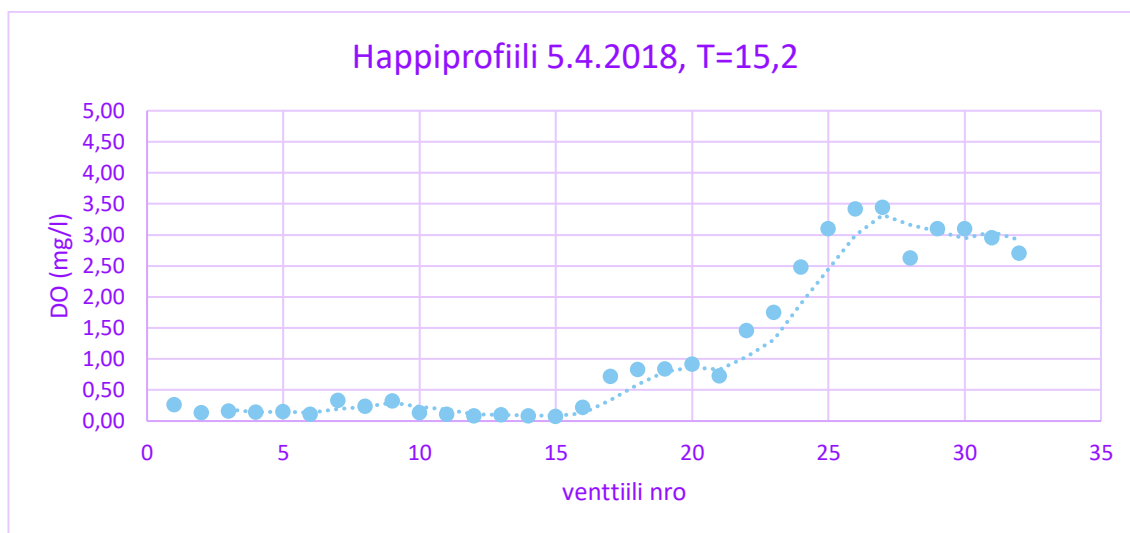
Mittausten ohella prosessiin kohdistettiin useita muutoksia, joita seurattiin mitausten aikana. Muutoksilla haluttiin tutkia kyseisten prosessimuuttujien vaikutusta luvussa 2.5 esitettyihin tunnuslukuihin, ja sen avulla arvioida niiden säätömahdollisuuksia prosessin ohjaamisessa. Tehtiin hypoteesi, että nostamalla WAS-virtausta lieteikä saadaan lyhyemmäksi ja lieteindeksi saadaan tavoitelukemiin sekä F/M-suhde saataisiin kasvuun. Prosessin WAS-virtaus oli lähtötilanteessa 0,06 m³/min. Virtausta nostettiin 19.4.2018 arvoon 0,07 m³/min. Prosessiautomaatiikka ilmaisee tiedon RAS-virtauksesta prosenttina, joka oli lähtötilanteessa 50%. Tätä arvoa pudotettiin 26.4.2018 arvoon 40%.

4 TULOKSET

Mittausdataa on kerätty aikaväliltä 12.7.2017–3.10.2018. Tähän työhön liittyvät mittaukset ja prosessimuutokset on tehty aikavälillä 5.4.2018–16.6.2018. Tulokset esitetään ja analysoidaan tässä luvussa. Luvussa 5 tuloksista on tehty johtopäätökset.

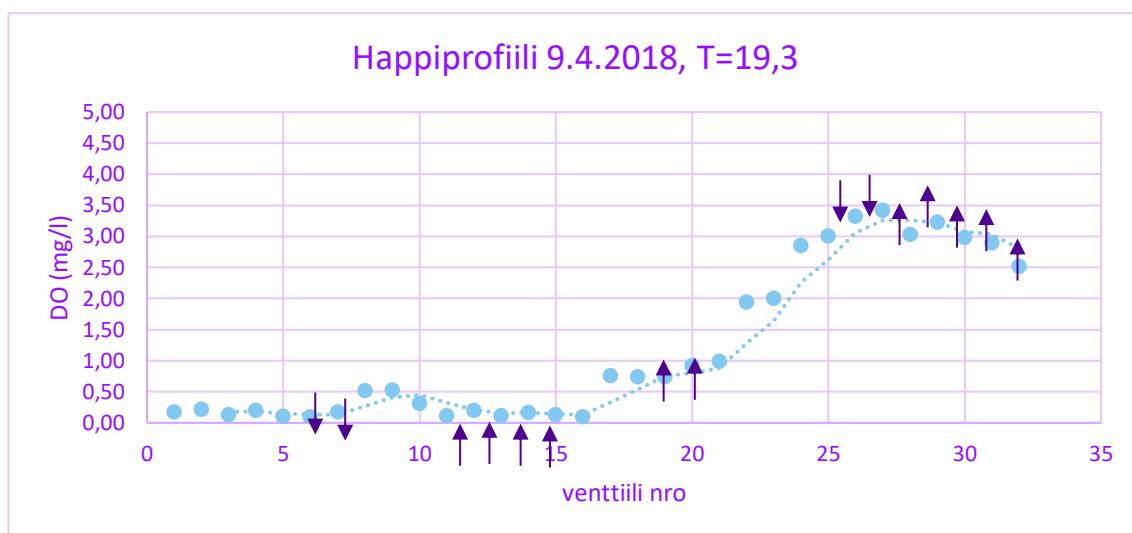
4.1 Lietteeseen liuennut happi

Kuvioissa 4-11 on esitetty happipitoisuus milligrammoina litrassa 32:ssa eri mittapisteessä. Nuoli ylöspäin kuvaa ilmastuksen säätöventtiilin kiertämistä auki päin ja vastaavasti nuoli alaspäin kuvaa venttiilin kiertämistä kohti sulkua. Muutoksen jälkeisiin kuvaajiin on merkitty punaisella ne mittauspisteiden arvot, joihin muutos oli tehty edellisen mittauksen jälkeen. Jokaisessa mittauksessa on määritetty ilmastusaltaan keskimääräinen lämpötila celsiusasteina. Tarkat arvot ovat esitettyinä liitteessä 1.



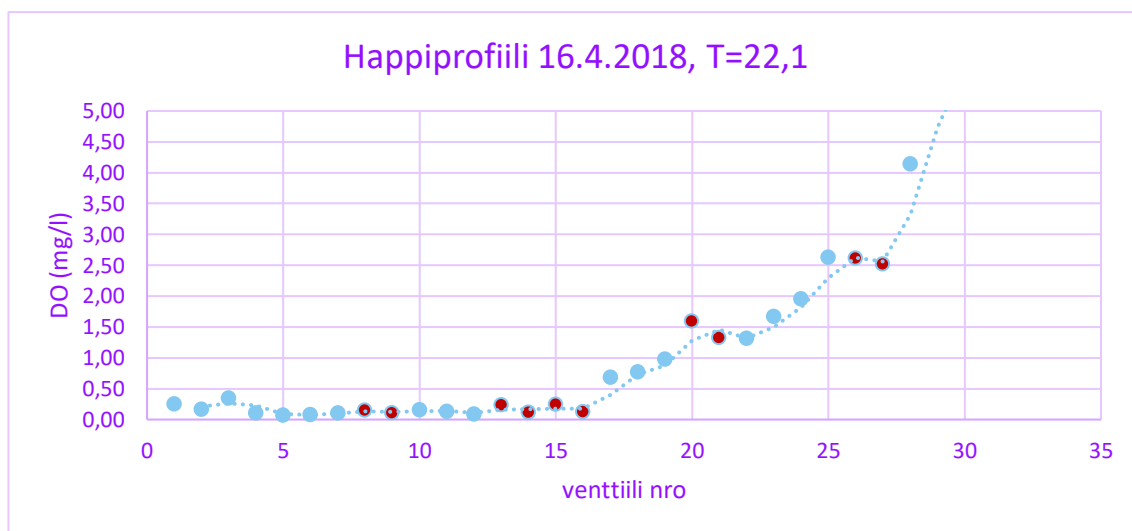
KUVIO 4. Happiprofiili 5.4.2018

Ensimmäisessä mittauksessa happipitoisuudet olivat matalia ilmastusaltaan puolelleväliin saakka. Mittauspisteen 15 jälkeen arvot nousevat jyrkästi ja laskevat hivenen ilmastuksen loppua kohti.



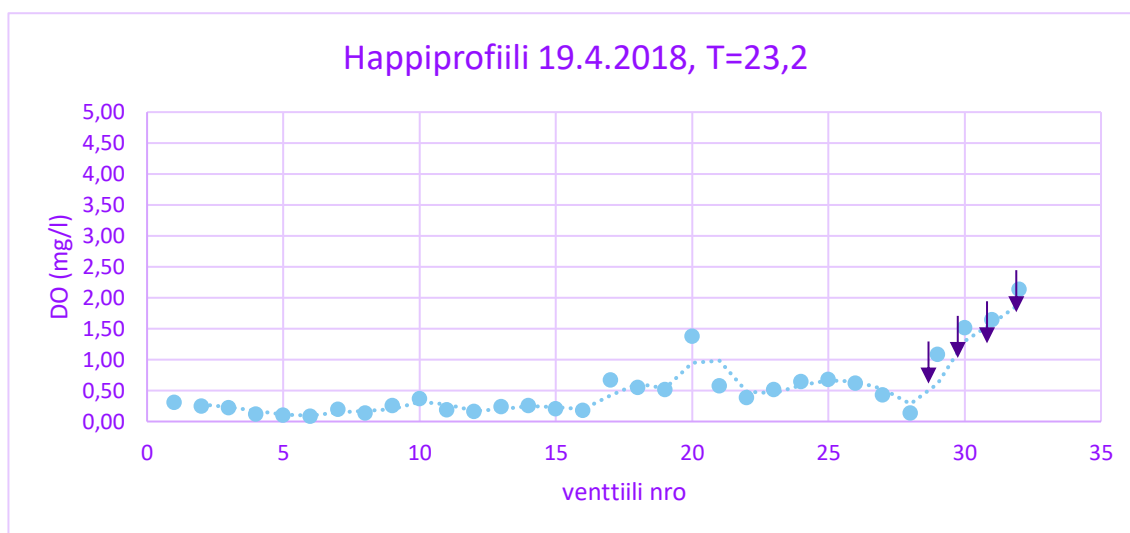
KUVIO 5. Happiprofiili 9.4.2018

Kuvion 5 tilanteessa erottuu useita nousu- ja laskukohtia, jotka erottuvat kuvaajan suuntauksesta. Aktiivilietesysteemiin kohdistettiin muutos, jolla pyrittiin tasapainottamaan happiprofiili. Kuvion mukaisesti venttiileitä nro 8, 9, 26 ja 27 suljettiin, ja venttiileitä nro 13, 14, 15, 16, 20, 21, 28, 29, 30, 31 ja 32 avattiin.



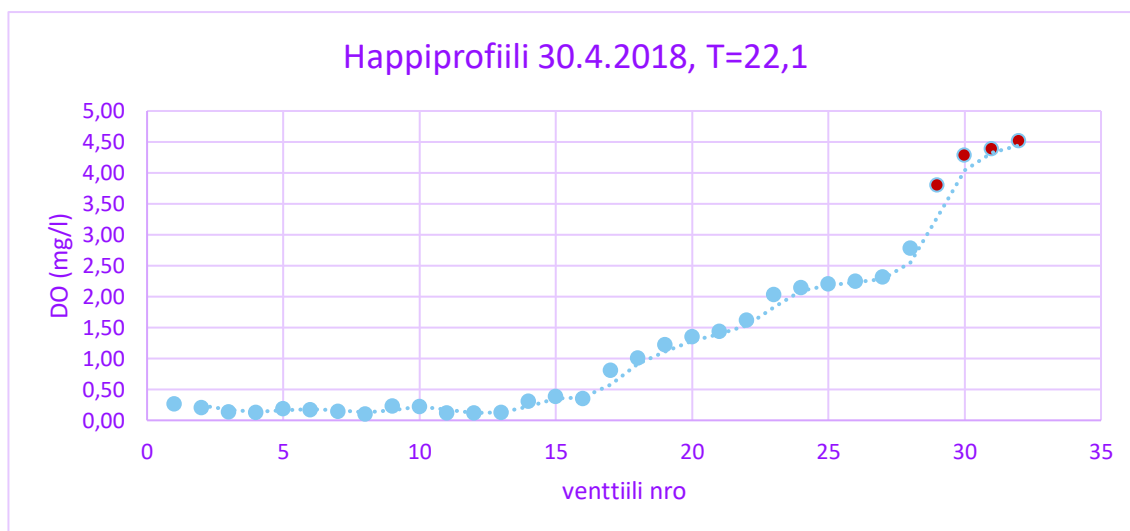
KUVIO 6. Happiprofiili 16.4.2018

Edellisen mittauksen yhteydessä auki päin kierrettyjen venttiilien mittauspisteiden kohdalla happipitoisuudet kohosivat korkealle, lukuun ottamatta kierron puolessa välissä olevia pisteitä. Tämä voi olla osoitus siitä, että bakteerien ja mikrobien hapensaanti on optimissaan ollessaan matalaa altaan puoleen väliin saakka, eikä edellytä tasaista nousua ennen sitä. (Kuvio 6)



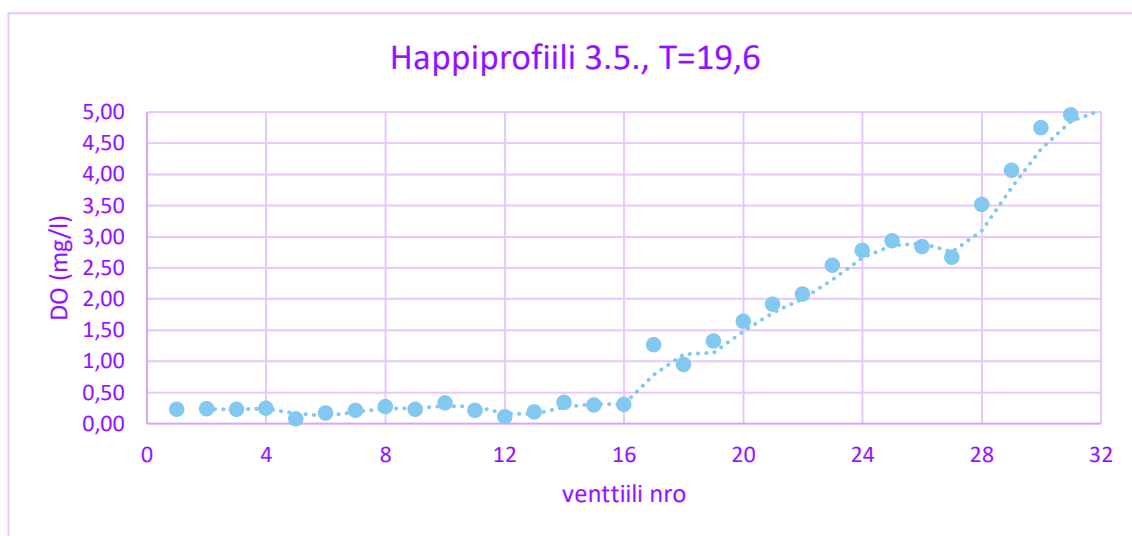
KUVIO 7. Happiprofiili 19.4.2018

Seuraavassa mittauksessa kasvanut happimäärä oli mahdollisesti vaikuttanut bakteerien ja mikrobien kasvuun, ja happiprofiili oli laskenut kautta koko altaan (kuvio 7). Happiprofiili pyrittiin saamaan lähemmäs aiempaa tilaansa kiertämällä neljä viimeistä venttiiliä kiinni päin.

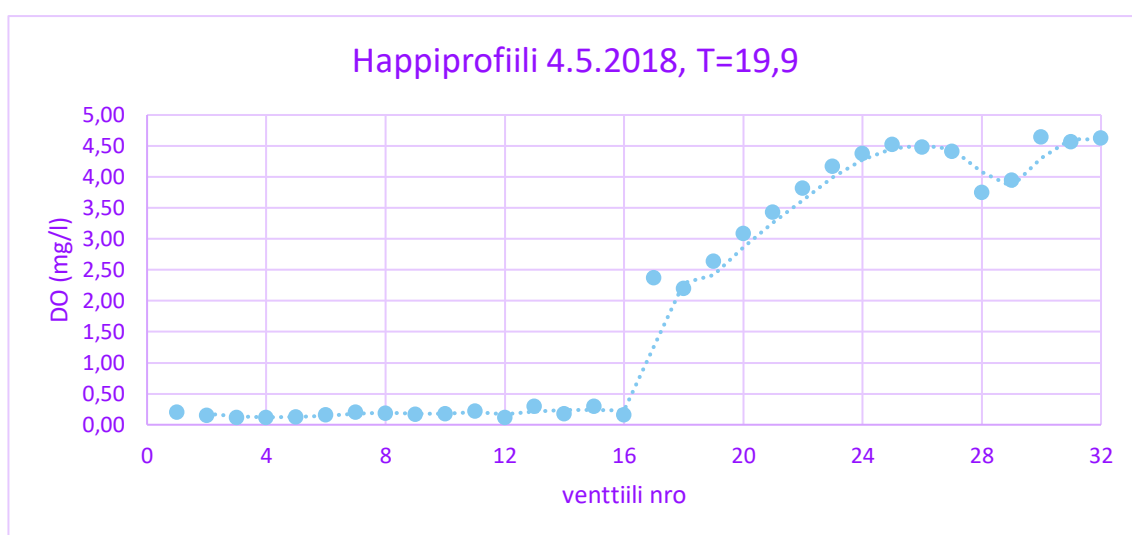


KUVIO 8. Happiprofiili 30.4.2018.

Kuten kuviosta 8 voi havaita, happiprofiili oli palautunut nousevaksi käyräksi edellisten muutosten jälkeen. Ilmastusventtiilien säädöt pidettiin vakiona ja happiprofiilin seuranta jatkettiin.

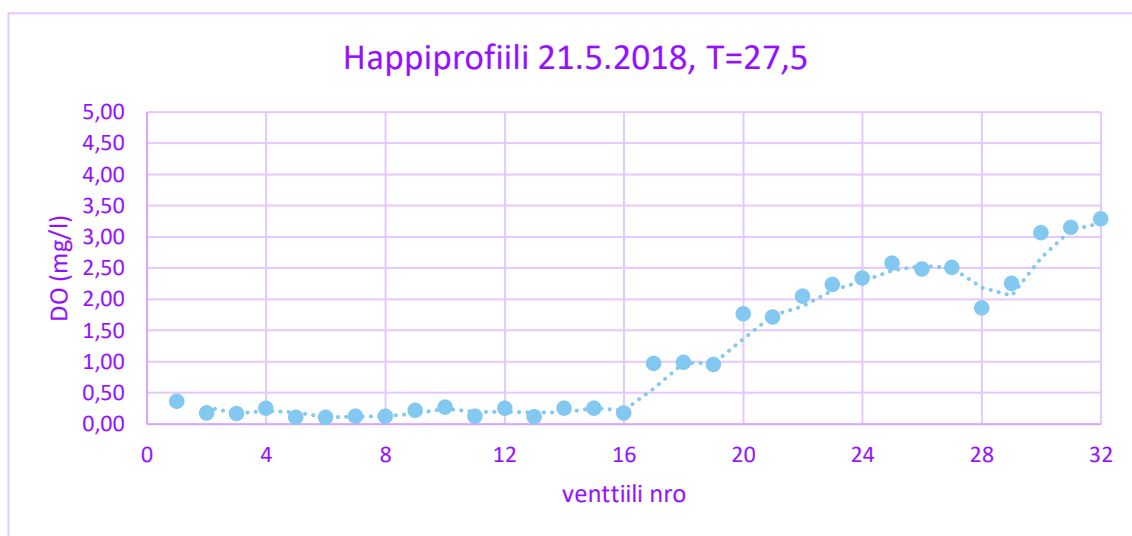


KUVIO 9. Happiprofiili 3.5.2018



KUVIO 10. Happiprofiili 4.5.2018

Kuvioissa 9 ja 10 ilmastusaltaan loppuvaiheessa happiprofiili kohoaa 5 mg/l tasolle. Alkuosa pysyy edelleen matalana kuten tähänkin asti, mutta happitason nousu keskivaiheilla muuttuu yhä jyrkemmäksi.

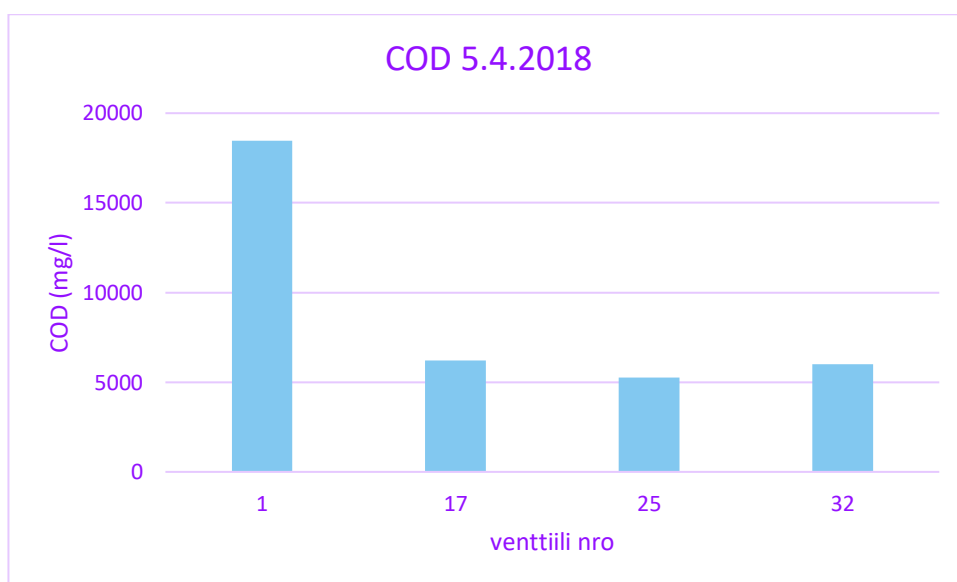


KUVIO 11. Happiprofiili 21.5.2018

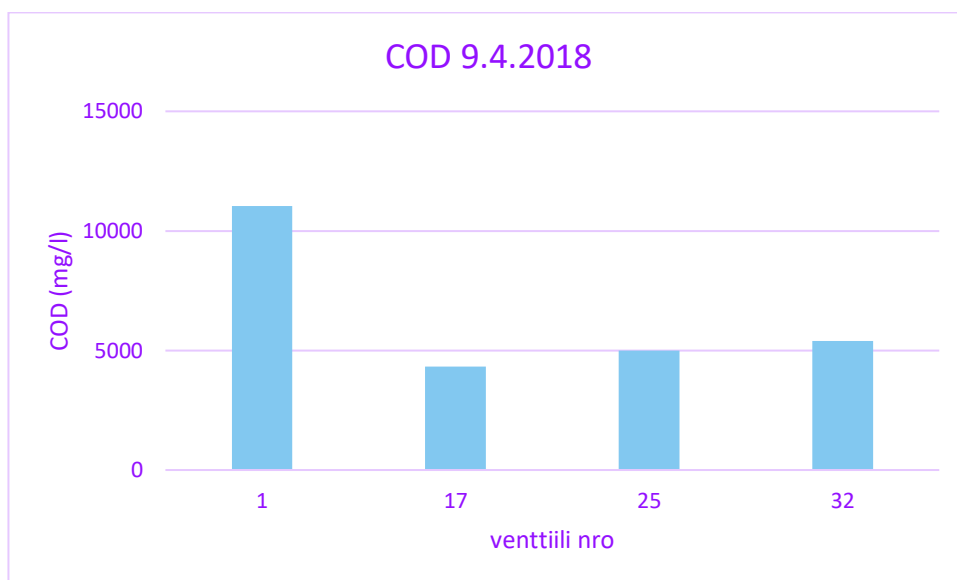
Kuvion 11 tilanteessa ilmastuksen happitaso on jälleen tasoittunut ja palannut alueelle, jossa se oli kolme viikkoa ennen.

4.2 COD

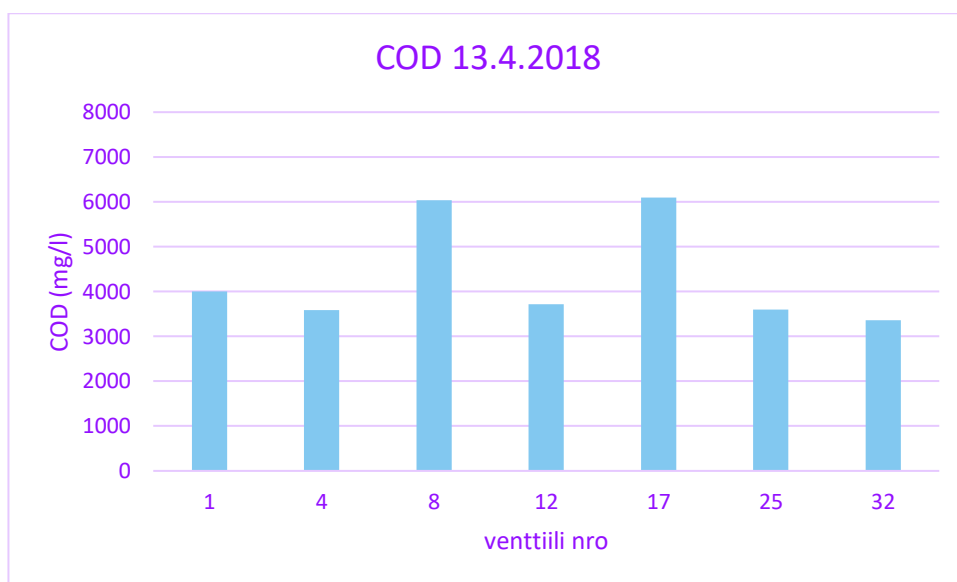
Kemiallinen hapentarve on esitetty seuraavissa kuvioissa viitenä eri päivänä, 4-7 eri mittauspisteestä. Pystyakselissa on kemiallinen hapentarve yksikössä mg/l, ja vaaka-akselissa on mittauspisteen järjestysnumero. Tarkat mittausarvot ovat esitettyinä liitteessä 2.



KUVIO 12. Kemiallinen hapenaterve 5.4.2018

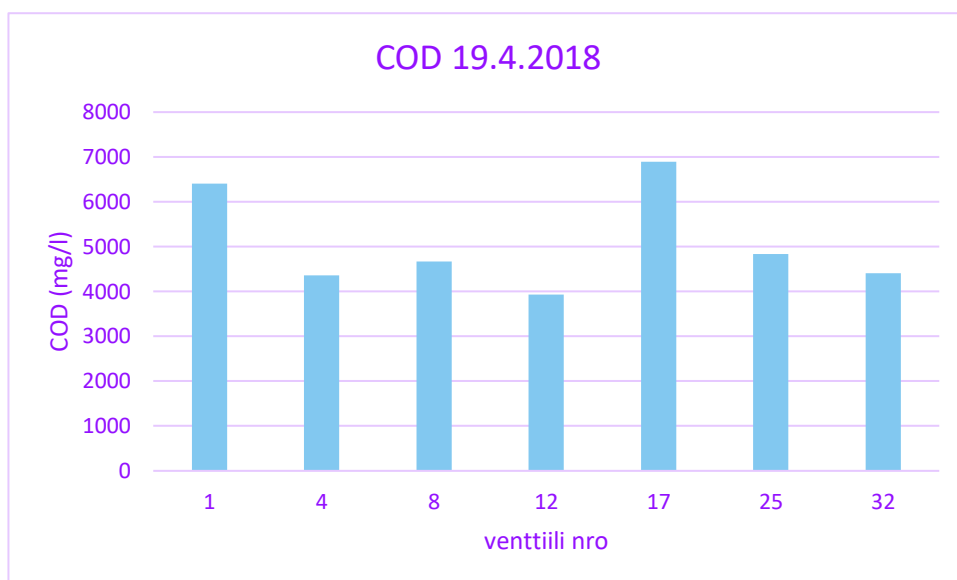


KUVIO 13. Kemiallinen hapentarve 9.4.2018

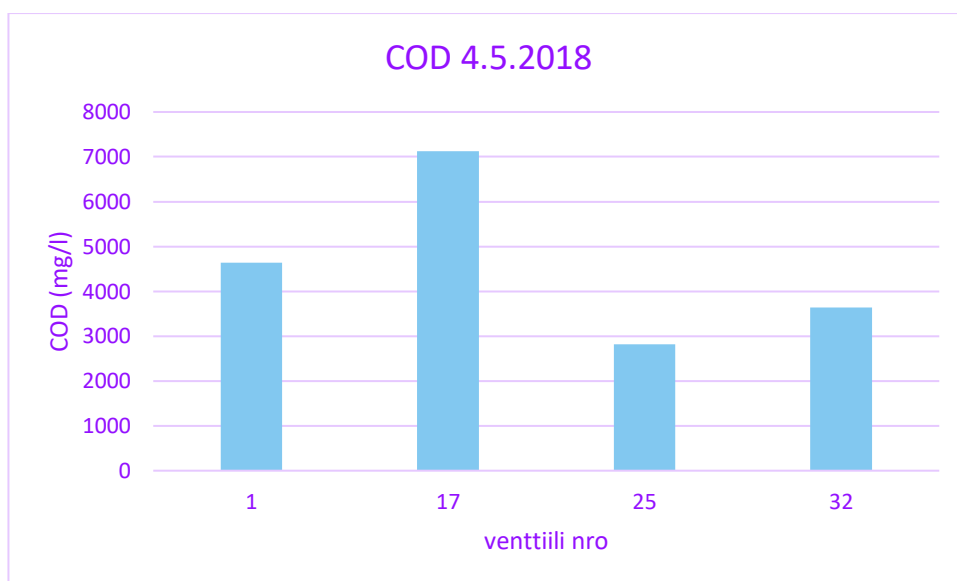


KUVIO 14. Kemiallinen hapentarve 13.4.2018

Ensimmäisissä mittauksissa (kuviot 12 ja 13) kemiallinen hapentarve ylittää arvon 10 000 mg/l. Myöhemmissä mittauksissa COD ei nouse niin korkealle yhdessäkään mittauspisteessä. Kuvion 14 havainnollistamien tulosten perusteella COD:n vaihtelu ilmastuksessa on pienempi kuin ensimmäisten mittausten aikana.



KUVIO 15. Kemiallinen hapentarve 19.4.2018



KUVIO 16. Kemiallinen hapentarve 4.5.2018

Kuvioissa 14, 15 ja 16 on havaittavissa COD:n merkittävä nousu ilmastuksen puolessavälissä mittauspisteessä 17.

4.3 Mikrobiseuranta

Seuraavissa taulukoissa on mikrobiseurannan tulokset annettuina päivämäärinä. Taulukkoon on merkitty havaintokappaleiden lukumäärät sekä suhteellinen

osuus otannasta prosentteina viimeisessä mittauspisteessä numero 32, eli ilmastuksen jälkeen.

TAULUKKO 1. Seurattujen mikrobien jakauma aktiivilietteessä 11.4.

Ilmastuksen jälkeen, 11.4.	kpl	%
Amebat	5	8
Siimaeliöt	1	2
Vapaasti uivat ripsieläimet	15	25
Varrelliset ripsieläimet	22	36
Rataseläimet	18	30
Muut	0	0

TAULUKKO 2. Seurattujen mikrobien jakauma aktiivilietteessä 13.4.

Ilmastuksen jälkeen, 13.4.	kpl	%
Amebat	13	23
Siimaeliöt	2	4
Vapaasti uivat ripsieläimet	24	42
Varrelliset ripsieläimet	12	21
Rataseläimet	4	7
Muut	2	4

TAULUKKO 3. Seurattujen mikrobien jakauma aktiivilietteessä 19.4.

Ilmastuksen venttiili no.	1	17	25	32	% (32)
Amebat	15	16	23	27	26
Siimaeliöt	0	0	0	0	0
Vapaasti uivat ripsieläimet	26	24	24	22	21
Varrelliset ripsiseläimet	58	67	49	52	50
Rataseläimet	2	0	4	4	4
Muut	0	0	0	0	0

TAULUKKO 4. Seurattujen mikrobien jakauma aktiivilietteessä 30.4.

Ilmastuksen jälkeen, 30.4.	kpl	%
Amebat	30	49
Siimaeliöt	0	0
Vapaasti uivat ripsieläimet	24	39
Varrelliset ripsieläimet	35	57
Rataseläimet	11	18
Muut	0	0

TAULUKKO 5. Seurattujen mikrobien jakauma aktiivilietteessä 4.5.

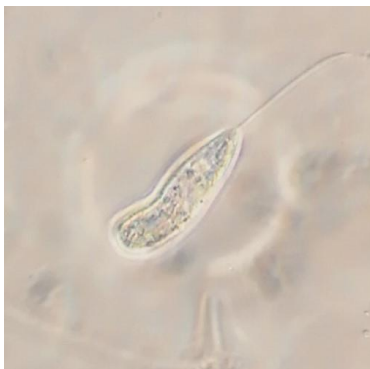
Ilmastuksen venttiili no.	1	17	25	32	% (32)
Amebat	9	15	11	7	7
Siimaeliöt	4	3	1	0	0
Vapaasti uivat ripsieläimet	18	19	19	11	10
Varrelliset ripsiseläimet	45	50	63	65	62
Rataseläimet	9	4	9	6	6
Muut	3	4	2	3	3

Rataseläinten suhteellinen määrä alussa oli korkea, 30% (taulukko 1). Ilmastus-venttiilien hienosäädön myötä ja happiprofiilin alkaessa noudattamaan enemmän lineaarista trendiä myös rataseläinten osuus jakaumasta laski, kuten taulukoista 2, 3, 4 ja 5 voi huomata. Ripsieläinten lukumäärä sen sijaan kasvoi alkuperäisestä.

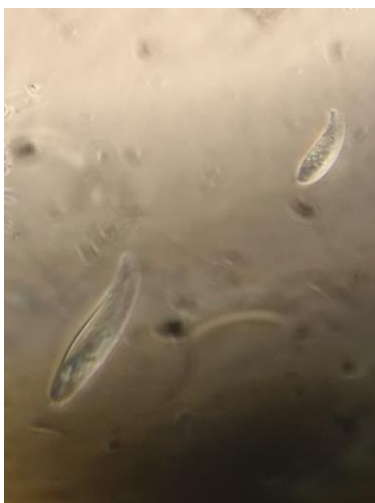
Seuraavissa valokuvissa on edustavimmat näytteet kustakin päämikrobityypistä jätevedessä. Niistä käy ilmi mikrobin ulkonäkö, erityispiirteet ja suhteellinen koko mikroskoopista katsottuna. Kuvien mikrobit on kuvattu 40-kertaisesti suurentamalla mikroskoopin objektiivilta.



KUVA 5. Ameba, jolla on tunnusomaiset ”jalat”



KUVA 6. Siimaeliö, jolla on tunnusomainen siima tarttumista ja liikkumista varten



KUVA 7. Tohvelieläimiä (Paramecium)



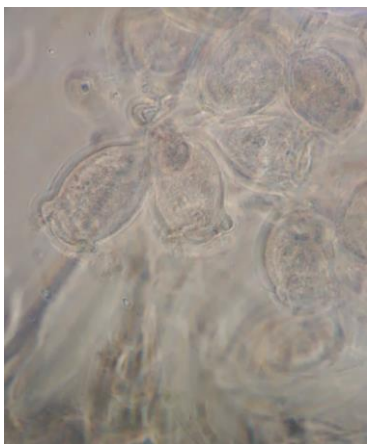
KUVA 8. Flokin pinnalla "hiipivä" ripsieläin (Aspidisca)



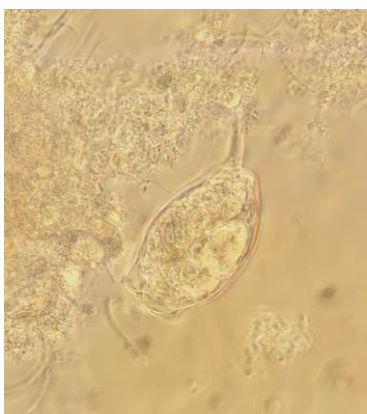
KUVA 9. Vapaasti uiva ripsieläin



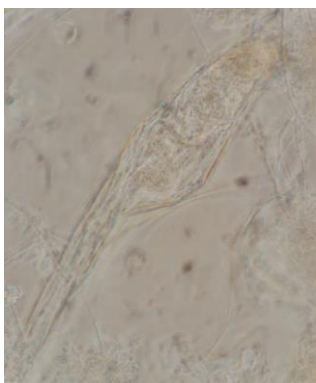
KUVA 10. Varrellinen ripsieläin



KUVA 11. Varrellinen ripsieläin



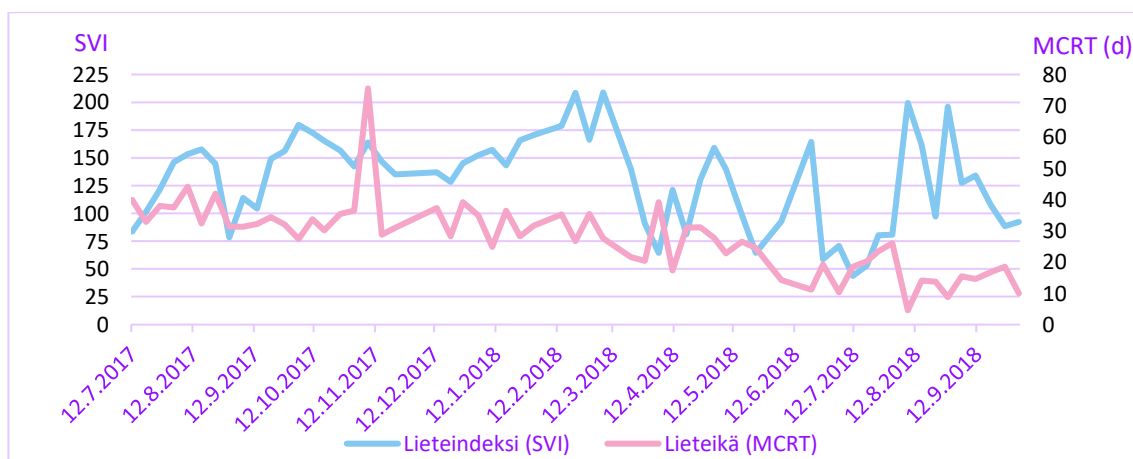
KUVA 12. Rataseläin (Monogononta)



KUVA 13. Rataseläin (Bdelloidea)

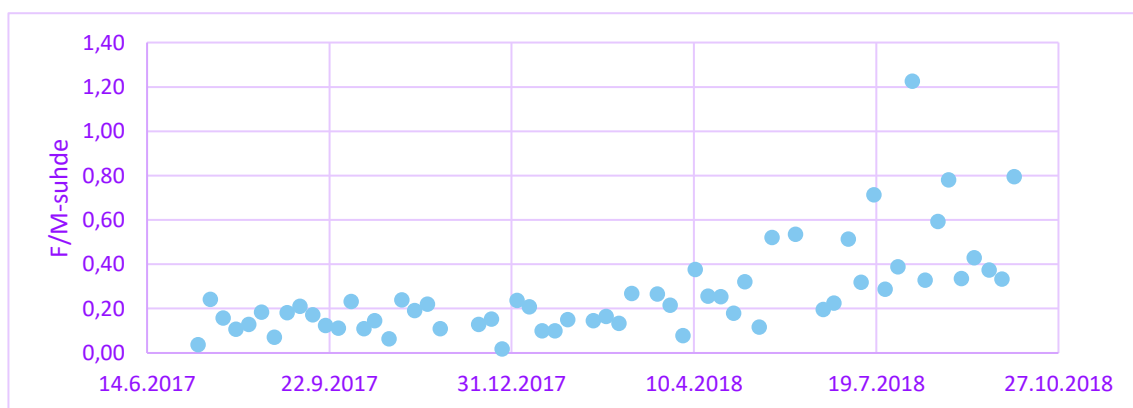
4.4 Tunnusluvut

Jätevesilaitoksen vesivirroista on otettu seuraavia mittauksia noin vuoden ja kolmen kuukauden ajan: ilmastuksen kiintoaine, laskeutuvuus, tulevan jäteveden COD, lähtevän jäteveden virtaama, lähtevän jäteveden kiintoaine, poistuvan lietteen virtaama sekä palautuslietteen kiintoaine. Jätevesilaitoksella ei ole käytössä poistuvan lietteen kiintoaineen mittausta. Tämän arvon selvittämiseksi palautuslietteestä oli otettu 5 dl näyte, josta valmisteltiin näyte kiintoainesakeusmittausta varten. Palautuslietteen kiintoaineeksi saatiin 1,01 g/l, jota verrattiin samana päivänä mitatun ilmastuksen kiintoaineeseen, 0,85 g/l. Tämän perusteella tehtiin oletus, että poistuvan lietteen kiintoaineena voidaan käyttää palautuslietteen arvoa, koska se on ilmastusta korkeampi ja olisi näin ollen suoraan verrannollinen poistuvan lietteen kiintoaineen arvoon. Tällä oletuksella ja käytössä olevien mittausten avulla muodostettiin kuviot 17 ja 18.



KUVIO 17. Lieteindeksi ja lieteikä tunnuslukujen tarkasteluvälillä 12.7.2017–3.10.2018

Tarkasteltavana ajanjaksona lieteindeksi ja lieteikä osoittavat mittausten perusteella laskevaa trendiä. Erityisesti selvää laskua lieteiässä on tapahtunut työn kokeellisen osuuden aikana ja sen jälkeen. Yleisesti voidaan todeta, että molemmat arvot ovat laskeneet kyseisellä ajanjaksolla. Kuvaajien vaihtelu selittyy aktiivilietteen jatkuvan tilan muutoksella ja bakteerikannan käyttäytymisellä, ja korkeat piikit sen sijaan lietesysteemin herkkyydellä ulkoisten tekijöiden muutoksiin (luvut 2.2 ja 2.3).



5 POHDINTA

Tulokset viittaavat siihen, että lieteiän lyheneminen ilmastusaltaassa on yhteydessä virtausten säätämiseen. Tuloksista saatava data vastaa hypoteesia, eli nostamalla palautuslietteen virtausta saadaan laskettua lieteikää ja lieteindeksiä tavoitelukemiin sekä nostettua F/M-suhdetta. Mikrobiseuranta tukee myös näitä tuloksia, sillä niistä voi havaita, että primääristen kuluttajien lukumäärä on kasvanut suhteessa kehittyneempiin mikrobeihin. Ilmastusventtiilien hienosäädöillä saatiin myös tasapainotettua mikrobien elinkaarta, ja happiprofiiliin saatiin aikaan tasainen nousu. Rataseläinten määrä pieneni lietteessä, kun taas ripsieläinten, siimaeläinten ja amebojen määrä kasvoi. Jatkossa olisi hyvä seurata säännöllisesti näitä kolmea tunnuslukua ja mikrobikannan jakaumaa ilmastusaltaan lietteessä. Mikrobeista on opinnäytteessä seurannan aikana otettuja mikroskooppikuvia, joita voidaan käyttää apuna mikrobien tunnistuksessa ja jakauman määrittämisessä. Nämä kuvat ovat luvussa 4.3. Happipitoisuus lietekierron alussa on matala, mikä on hyvä, sillä edellä mainittujen havaintojen perusteella mikrobikanta reagoi muutoksiin, mikä puolestaan viittaa alhaisen hapen johtuvan prosessille hyödyllisten mikrobien kasvaneesta hapenkulutuksesta.

Laskeutuvuustestiä on jatkettu kahdesti, ja sen perusteella on ilmennyt, että nykytilassaan jätevedessä ei tapahdu denitrifikaatiota, mikä viittaa jäteveden hyvään laatuun.

Best Practice -ohjeistuksen kannalta on selvinnyt, että kaikkiin kolmeen tarkasteltuun tunnuslukuun mittausarvot ovat määritettävissä. Osa on jo tehtaan laboratorion seurannassa. F/M-suhteeseen kaikki arvot ovat saatavilla. Jotta tunnusluku saataisiin reaaliajassa, sen laskenta tulisi lisätä toiminnanohjausjärjestelmään. Lieteikä on pudonnut, mutta sen olisi hyvä pysyä alle 20 vuorokauden pituisena, mieluiten 15-20 vuorokautta.

Teorialuvussa esitetty tilapisteanalyysi voisi näiden tunnuslukujen ja mittausten avulla olla hyvä työkalu tehtaan vedenkäsittelyprosessin ohjaamisessa ja seurannassa. Sen soveltaminen juuri tässä prosessissa edellyttää lisää tutkimuksia.

Mittausmenetelmien kehittäminen ja mittalaitehankinnat helpottaisivat jätevesilaitoksen prosessinohjausta, optimointia ja eräiden mittaustulosten saatavuutta. Ravinteiden annostelun mittaus antaisi lukuarvon ravinteen määrälle.

LÄHTEET

Bitton, G. 2011. Wastewater Microbiology. Wiley-Blackwell.

Cloete, T.E. & Muyima, N.Y.O. 1997. Microbial Community Analysis: The Key to the Design of Biological Wastewater Treatment Systems. IAWQ.

Dahl, O. 2008. Papermaking Science and Technology. Environmental Management and Technology. Paperi ja Puu Oy.

Dahl, O. & Toivakainen, S. 2016. Metsäteollisuuden jätevesien käsittely. Pohto Oy.

Heinänen, J., Peltokangas, J. & Viitasaari M. 1994. Vesihuoltotekniikan yksikköoperaatiot ja yksikköprosessit. Osa II: Jäteveden käsittely. Tampereen teknillinen korkeakoulu.

IAWQ Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment Processes. 1995. Activated Sludge Model No. 2. IAWQ.

Junkins, R., Deeny, K. & Eckhoff, T. 1983. The Activated Sludge Process: Fundamentals of Operation. Ann Arbor Science.

Mogens, H. et al. 2008. Biological Wastewater Treatment. Cambridge University Press.

Myers, S. State Point Analysis Worksheet.xls. 2010. Central Davis County Sewerage District State Point Analysis.

Sawea.org. 2005. State Point Analysis. WesTech Engineering, Inc. (<http://sawea.org/pdf/2005/MainSession/Nov30/STATE%20POINT%20ANALYSIS.pdf>)

Sojakka, K. & Välimäki, M. 2011. Ammatillinen mikrobiologia. Opetushallitus.

Unit Processes. 1987. Activated Sludge. The Institute of Water Pollution Control.

The Wastewater Blog. Food-to-Mass (F:M) Ratio. (<https://www.thewastewaterblog.com/single-post/2016/12/19/Food-to-Mass-Ratio>) Luettu 20.5.2018.

The Wastewater Blog. State Point Analysis (<https://www.thewastewaterblog.com/single-post/2016/09/28/State-Point-Analysis>) Luettu 20.5.2018.

Yilmaz, G. Introduction to Aerobic Treatment. (pp-presentation)

Yilmaz, G. 2016. Environmental Best Practice Standard. Operation and Process Control of Biological Wastewater Treatment Unit

LIITTEET

Liite 1. Liuenneen hapen mittaustulokset

Yksikkö mg/l.

Piste/pvm	5.4.2018	9.4.2018	16.4.2018	19.4.2018	30.4.2018	3.5.2018	4.5.2018
1	0,26	0,18	0,25	0,31	0,27	0,23	0,20
2	0,13	0,22	0,17	0,25	0,21	0,24	0,15
3	0,16	0,13	0,35	0,22	0,14	0,23	0,12
4	0,14	0,20	0,11	0,12	0,13	0,25	0,12
5	0,15	0,11	0,07	0,10	0,19	0,08	0,13
6	0,11	0,10	0,08	0,09	0,17	0,17	0,16
7	0,33	0,18	0,11	0,20	0,15	0,21	0,20
8	0,24	0,52	0,15	0,14	0,10	0,27	0,19
9	0,32	0,53	0,10	0,26	0,23	0,23	0,17
10	0,13	0,31	0,16	0,37	0,22	0,33	0,18
11	0,11	0,12	0,13	0,19	0,12	0,21	0,22
12	0,08	0,20	0,09	0,16	0,12	0,11	0,12
13	0,10	0,12	0,23	0,24	0,13	0,19	0,30
14	0,08	0,17	0,11	0,26	0,31	0,34	0,18
15	0,07	0,13	0,24	0,21	0,39	0,30	0,30
16	0,22	0,10	0,12	0,18	0,35	0,31	0,16
17	0,72	0,76	0,69	0,67	0,81	1,27	2,37
18	0,83	0,74	0,77	0,55	1,01	0,95	2,20
19	0,84	0,74	0,98	0,52	1,22	1,33	2,64
20	0,92	0,92	1,59	1,38	1,35	1,64	3,09
21	0,73	0,99	1,32	0,58	1,44	1,92	3,43
22	1,46	1,94	1,32	0,39	1,62	2,08	3,82
23	1,75	2,00	1,67	0,52	2,03	2,54	4,17
24	2,48	2,85	1,96	0,65	2,15	2,78	4,38
25	3,10	3,01	2,63	0,68	2,21	2,94	4,53
26	3,42	3,33	2,61	0,62	2,25	2,84	4,48
27	3,44	3,42	2,51	0,43	2,32	2,67	4,41
28	2,63	3,03	4,14	0,14	2,78	3,52	3,75
29	3,10	3,23	5,34	1,09	3,80	4,07	3,95
30	3,10	2,98	6,06	1,52	4,28	4,75	4,65
31	2,95	2,90	6,56	1,65	4,38	4,96	4,57
32	2,70	2,52	6,73	2,14	4,51	5,10	4,63

Liite 2. Kemiallisen hapenkulutuksen mittaukset

5.4.2018	mg/l	g/m ³
1	1845	18450
17	620	6200
25	527	5270
32	599	5990

9.4.2018	mg/l	g/m ³
1	1105	11050
17	433	4330
25	499	4990
32	539	5390

13.4.2018	mg/l	g/m ³
1	400	4000
4	358	3580
8	604	6040
12	372	3720
17	609	6090
25	360	3600
32	336	3360

19.4.2018	mg/l	g/m ³
1	640	6400
4	436	4360
8	467	4670
12	393	3930
17	689	6890
25	484	4840
32	441	4410

4.5.2018	mg/l	g/m ³
1	464	4640
17	712	7120
25	282	2820
32	364	

Liite 3. Jätevesilaitoksen laboratoriomittaukset ja tunnusluvut

	Ilm MLSS	lask.	ras mlss	tul cod	läht mlss	läht kap	Q(was)	SVI	MCRT	F/M
12.7.2017	3580	300	4,61	177	3437	21	50	84	40	0,04
19.7.2017	3552	360	6,37	554	6964	4	50	101	33	0,24
26.7.2017	4104	500	6,63	610	4763	2	50	122	38	0,16
2.8.2017	4444	650	6,93	360	5970	6	50	146	37	0,11
9.8.2017	4560	700	6,38	401	6538	1	50	154	44	0,13
16.8.2017	4380	690	7,57	398	9140	7	50	158	32	0,18
23.8.2017	4836	700	6,84	238	6512	4	50	145	42	0,07
30.8.2017	4076	320	5,92	443	7543	21	50	79	31	0,18
6.9.2017	3508	400	5,5	492	6780	16	50	114	31	0,21
13.9.2017	3452	360	5,84	339	7889	8	50	104	32	0,17
20.9.2017	3760	560	5,5	327	6435	15	50	149	34	0,12
27.9.2017	4164	650	6,4	310	6818	5	60	156	32	0,11
4.10.2017	3948	710	6,5	418	9845	9	60	180	27	0,23
11.10.2017	4460	770	6	394	5581	14	60	173	34	0,11
17.10.2017	4472	740	6,8	463	6299	13	60	165	30	0,14
25.10.2017	4792	750	6,5	197	6859	7	60	157	35	0,06
1.11.2017	4644	660	5,66	601	8325	10	60	142	37	0,24
8.11.2017	3660	600	1,9	408	7699	7	60	164	76	0,19
15.11.2017	4087	600	7	487	8279	4	60	147	29	0,22
22.11.2017	4440	600	6,8	383	5727	10	60	135	31	0,11
13.12.2017	4748	650	5,56	354	7716	12	60	137	37	0,13
20.12.2017	4908	630	8	441	7704	12	60	128	28	0,15
26.12.2017	4748	690	5,7	104	3487	15	60	145	39	0,02
3.1.2018	4396	670	5,8	717	6564	10	60	152	35	0,24
10.1.2018	4456	700	7,8	413	10099	13	60	157	25	0,21
17.1.2018	5160	740	6,71	375	6244	9	60	143	37	0,10
24.1.2018	5124	850	7,77	397	5774	25	60	166	28	0,10
31.1.2018	4684	800	7	526	6025	10	60	171	32	0,15
14.2.2018	3920	700	5,3	353	7309	6	60	179	35	0,15
21.2.2018	3936	820	6,5	423	6887	15	60	208	27	0,16
28.2.2018	4504	750	5,9	474	5681	11	60	167	35	0,13
7.3.2018	3400	710	5,7	713	5738	11	60	209	28	0,27

21.3.2018	4148	580	7,8	496	10037	19	60	140	22	0,27
28.3.2018	3844	350	7	561	6663	37	60	91	20	0,22
4.4.2018	4188	270	5,3	333	4451	5	60	64	39	0,08
11.4.2018	2060	250	5	505	6899	15	60	121	17	0,38
18.4.2018	3804	310	5,6	693	6317	11	60	81	31	0,26
25.4.2018	4228	550	5,2	665	7275	12	70	130	31	0,25
2.5.2018	4024	640	5,75	451	7206	10	70	159	28	0,18
8.5.2018	3640	510	5,7	616	8563	7	80	140	23	0,32
16.5.2018	3248	320	4,66	371	4637	3	80	99	27	0,12
23.5.2018	2316	150	1,6	651	8332	29	80	65	24	0,52
5.6.2018	1940	180	3,735	658	7095	10	100	93	14	0,53
20.6.2018	2312	380	4,5	371	5524	50	100	164	11	0,20
26.6.2018	1696	100	2,46	279	6154	7	100	59	19	0,22
4.7.2018	1700	120	3,1	467	8400	35	100	71	10	0,51
11.7.2018	2512	110	4,1	547	6610	3	100	44	19	0,32
18.7.2018	1504	80	2,1	582	8286	4	100	53	20	0,71
24.7.2018	1868	150	2,4	358	6744	2	100	80	23	0,29
31.7.2018	2040	165	1,7	427	8378	7	120	81	26	0,39
8.8.2018	752	150	3,37	501	8274	19	120	199	5	1,22
15.8.2018	1612	260	2,5	315	7589	11	120	161	14	0,33
22.8.2018	1856	180	3,2	611	8094	7	120	97	14	0,59
28.8.2018	1480	290	3,85	696	7469	12	120	196	9	0,78
4.9.2018	2312	295	3,61	652	5354	9	120	128	15	0,34
11.9.2018	2456	330	4,06	579	8191	7	120	134	15	0,43
19.9.2018	2520	270	3,79	722	5874	3	120	107	17	0,37
26.9.2018	2712	240	3,5	610	6664	8	120	88	19	0,33
3.10.2018	1624	150	4,2	607	9566	1	120	92	10	0,79